AMEA-nın Xəbərləri (biologiya və tibb elmləri), cild 68, №3, səh. 131-136 (2013)

Динамика Процессов Гумусообразования И Запасов Энергии В Гумусе Разновозрастных Почв Крымского Полуострова

Е.И. Ергина

Таврический национальный университет имени. В.И. Вернадского, Пр. Вернадского, 4, Симферополь, Украина; E-mail: YazcivLena@rambler.ru

Определены основные закономерности динамики содержания и запасов гумуса в разновозрастных педоэкосистемах. Установлено, что с возрастом скорости гумусонакопления уменьшаются и содержание гумуса в почвах после достижения ими возраста 1500 лет стабилизируется. Определены значения и практические результаты оценки энергетики гумуса почв, формирующихся на различных почвообразующих породах.

Ключевые слова: *гумус, запасы гумуса, скорости гумусообразования, энергия гумуса*

ВВЕДЕНИЕ

Взаимодействие факторов почвообразования при экспонировании на поверхность почвообразующих пород вызывает у них комплекс структурных, физических, химических превращений, среди которых ведущим процессом является формирование почвенного профиля и запасов в нем гумусового вещества. Благодаря этим специфическим педоморфным процессам диагностируется почвообразование в молодых педосистемах.

Очевидно, что на участках с вновь экспонированными почвообразующими субстратами необходимо время для начала процесса почвообразования – лаг запаздывания – это время, когда формируются первичные биоценозы с пионерными растительными группировками, а гумусового профиля еще нет. По нашим наблюдениям длительность этого времени незначительна, а порой процессы формирования растительного покрова и гумусового горизонта проходят параллельно, особенно в случаях, когда почвообразующий субстрат имеет первичное плодородие.

Мозаичность условий почвообразования на разных территориях приводит порой к противоречивым данным, которые диагностируют и описывают процесс формирования гумуса на начальных этапах почвообразования (Абакумов, 2008). Так, анализ литературы свидетельствует о том, что для двухлетних почв Приморья характерно отсутствие органогенных горизонтов, количество гумуса составляет 0,25 %, в почвах 5-летнего возраста также содержание гумуса незначительное до 0,95 % и резко уменьшается по профилю. Через 13 лет формируется гумусово-аккумулятивный профиль с содержанием гумуса 1,1 % (Комачкова, 2009). В зоне лесостепи отмечается, что содержание гумуса сильно отличается в зависимости от биолитологических условий почвообразования: имеет низкие значения в песчаных почвах, средние – в суглинистых и глинистых, высокие – в почвах на меловых породах, там же отмечается, что содержание гумуса в горизонтах A_1 и A_1B новообразованных почв становится близким к фоновому уровню уже через 25 лет, но со значительными различиями в качественном составе гумуса (Голеусов и др., 2005). Мы объясняем этот факт термодинамическими свойствами почвообразующих пород молодых техногенных геосистем. Ведь минеральная часть породы характеризуется меньшей энергией кристаллической решетки, меньшим значением энтропии, большими запасами свободной энергии Гиббса, и, как следствие, большей энергией химических реакций, следовательно и почвообразовательной способностью в сравнении с полноголоценовыми аналогами (Ергина, 2013).

Г.И.Махонина в своих исследованиях обнаружила как количественные, так и качественные особенности в накоплении гумуса в зависимости от биологических характеристик опада. Больше его скапливается под злаками и бобовыми видами, и меньше – под разнотравьем. Под лиственными древесными породами гумуса образуется больше, чем под хвойными, при этом непосредственно у ствола дерева его больше, чем у края проекции крон, что связано с особенностями распределения массы опада (Махонина и др., 2001). На процессы гумусонакопления влияет и гранулометрический состав пород. С увеличением доли илистых частиц в почвах растет и содержание гумуса. Влияние химического состава пород в отвалах проявляется в большем накоплении гумуса (при прочих равных условиях) на породах, обогащенных кальцием, и наименьшим –

на породах, обогащенных кремнием. С возрастом (до 200 лет), как отмечается этим же автором (Махонина и др., 2001), содержание гумуса в почвах увеличивается. Но даже через 200 лет запасы гумуса еще не достигают зональных значений. Скорость прироста гумуса в 5-летних почвах составляет 0,52 т/га/год, или 0,05 %, а в 200-летних – 0 17 т/га/год, или 0,005 %. Авторы утверждают, что для достижения в молодых почвах запасов гумуса, аналогичных ненарушенным зрелым почвы, нужно 370-800 лет (Махонина и др., 2001). Эти результаты свидетельствуют об очень медленных темпах естественного восстановления плодородия почв в молодых техногенных экосистемах.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для определения особенностей процесса гумусообразования в современных условиях использовался метод хронорядов, базирующийся на использовании эргодической теории (Геннадиев, 1990). Главное условие применения концепции хронорядов – относительное постоянство факторов почвообразования на разновозрастных поверхностях. Объектами исследования служили хроноряды, составленные из почв, образовавшихся на разновозрастных поверхностях Крымского полуострова. При этом экологические модификации почвообразующего процесса учитывались при дифференциации массива данных по типам условий почвообразования, а также при выделении и анализе хронорядов биолитокомбинаций. Основной массив почвенно-хронологических данных охватывает поздний голоцен, что соответствует субатлантическому периоду (по Блитту-Сернандеру – последние 2500 лет, по новой хронологии – 2800 (Александровский, 2005)). Методологическим критерием отбора модельных объектов, обеспечивающим учет экологической вариабельности факторов почвообразования, служил поиск одновозрастных объектов с максимально выраженным профилем почв, формирующихся при конкретном сочетании субстратных и био-микроклиматических условий. Проведенные нами почвенно-хронологические исследования включали, прежде всего, выбор памятников (поселений, оборонительных валов, курганов) , надежно датированных археологическими методами в диапазоне дат от XIV в. до н.э. до IX в. н.э., а также задернованных поверхностей, XV – XX вв. (жилые и хозяйственные постройки, беллигеративные объекты, отвалы горных пород и др.). Для сравнения использовали данные по морфологии полноголоценовых почв. Датировку объектов и антропогенно-преобразованных субстратов проводили с использованием исторических и археологических методов. Аналитические и расчетные работы проводили по стандартным методикам. Расчет запасов гумуса проводился на всю мощность сформированного слоя почвы.

Методической основой для нашей работы стали также работы В.Р. Волобуева (Волобуев, 1959, 1968), а также исследования С.А. Алиева (Алиев, 1975), в которых предложена методика расчета запасов энергии, аккумулированной в почвах ряда генетических типов, и установлена закономерная связь между запасами гумуса в почве и относительной величиной энергии биологического круговорота.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По способности накапливать органическое вещество почвообразующие породы на территории Крымского полуострова образуют ранжированные ряды от низкой к более высокой: пески → лесы и лессовидные суглинки → глины → делювий и элювий известняков, сланцев, песчаников, конгломератов (Ергина, 2013) Исходя из этого, в дальнейшем будем рассматривать особенности гумусообразования на породах двух групп: рыхлые породы – это лесы, лессовидные суглинки, глины; плотные породы: делювий и элювий известняков, песчаников, сланцев, конгломератов.

Нами установленный большой разброс значений содержания гумуса в почвах, сформированных на молодых участках с вновь экспонированными почвообразующими породами, в результате разнообразия условий почвообразования на территории Крымского полуострова. Так, на 10-летних участках на породах суглинистого состава содержание гумуса колеблется от 3,8 до 4,12%; на отвалах песчаных карьеров 20-летнего возраста содержание гумуса изменяется от 1,62 до 2,75%. На аналогичных отвалах известнякового карьера содержание гумуса колеблется от 0,86 % на открытых слабозадернованых участках до 3,54 % на участках с древесно-кустарниковой растительностью (Ергина, 2009; 2013).

Запасы гумуса также изменяются в очень широком диапазоне. Использование данных почвенно-хронологических исследований на разновозрастных объектах позволяет провести процедуру математического моделирования процесса формирования запасов гумуса почв во времени. Зависимость формирования запасов гумуса в почвах от времени имеет логарифмический характер и характеризуется похожими

стартовыми позициями для почв, формирующихся на разных почвообразующих породах, но с возрастом происходит дифференциация кривых.

Для почв, формирующихся на рыхлых породах зависимость приобретает вид:

$$\gamma = 13{,}215\mathrm{Ln}(t) - 24{,}831 \qquad (1)$$

Для почв, формирующихся на плотных породах:

$$\gamma = 18{,}874\mathrm{Ln}(t) - 41{,}134, \qquad (2)$$

где γ – запасы гумуса в сформированном слое т/га ;

t – возраст почвы.

В почвах до 20 лет запасы гумуса минимальны от 7 до 10 т/га, при этом более низкие значения наблюдаются на лессовидных суглинках, песках и глинах. На почвообразующих породах, состоящих из конгломератов, сланцев, известняка и продуктов их выветривания запасы гумуса в первые годы почвообразования изменяются от 7 до 20 т/га.

После достижения 1000-летнего возраста запасы гумуса значительно увеличиваются и достигают в почвах, формирующихся на плотных породах до 80-100 т/га. На рыхлых породах запасы гумуса несколько ниже и равны 60-80 т/га. Через 2000 запасы гумуса увеличиваются до 100-140 т/га на плотных породах и до 100-120 т/га на рыхлых породах (Рис. 1).

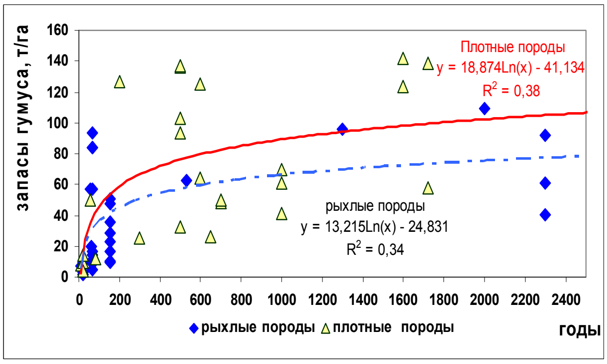


Рис. 1. Изменения во времени запасов гумуса на территории Крымского полуострова

В целом, как и развитие гумусового профиля исследованных почв, так и процесс формирования запасов гумуса характеризуется достаточно быстрым достижением квазиравновесного состояния. В результате высокой подвижности вновь сформированного органического вещества по профилю почвы в условиях интенсивного ее промокания в периоды с низким испарением, ведь для условий Крыма характерен длительный безморозный период (170 – 270 дней) и значительное усвоение почвами атмосферных осадков (от 73 до 88 % годовой суммы) (Агрокліматичний довідник, 2011).

Более быстрые темпы формирования запасов гумуса на плотных почвообразующих породах объясняются во первых: их географическим распространением, в основном, в Предгорном и Горном Крыму, в районах с высокими значениями энергии почвообразования, а, следовательно и скорости почвообразующих процессов; и во вторых; преобладанием ионов Ca^{2+} в почвенно-поглощающем комплексе (Ергина, 2013).

Нами установлено, скорости накопления гумуса на начальных этапах почвообразования имеют максимальные значения в первые сто лет формирования почвы независимо от характеристики почвообразующих пород (Рис. 2).

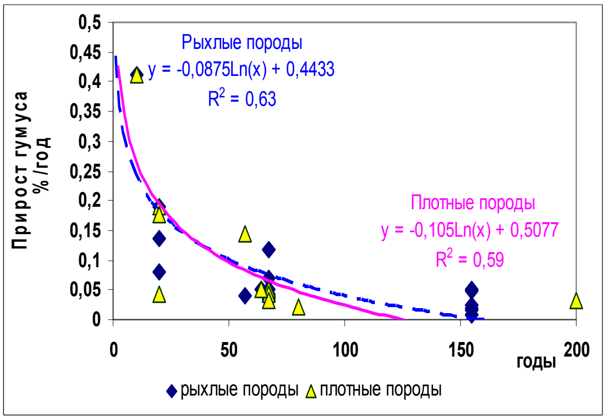


Рис. 2. Изменения темпов прироста накопления гумуса в молодых почвах со временем

Максимальных значений они достигают в почвах, имеющих возраст 10–20 лет – 0,2 мм/год, в почвах от 50 до 100 лет скорость 0,06 мм/год, в почвах 100-500 лет скорость уменьшается в 10 раз до 0,02 мм/год, через 500 лет скорость образования гумуса в почвах имеет значение 0,01 мм/год, тысячелетние почвы накапливают гумус со скоростью 0,004 мм/год. Для почв, имеющих возраст 2000 и более лет, скорость накопления гумуса стабилизируется почти на нулевых значениях 0,001 мм/год, то есть в почвах при условиях природных потоков органического вещества после 1000 процесс накопления гумуса почти не наблюдается, а весь органический материал, поступающий в почву, поддерживает процессы минерализации гумуса. Полученные данные свидетельствуют о замедлении гумусоаккумулятивного процесса с возрастом почвы. Снижение скорости процесса гумусонакопления во времени связано с процессами экосистемного уровня. К ним относятся поступление органического вещества в почву и его трансформация (гумификация и минерализация). В тот момент, когда эти процессы уравновешиваются, скорость гумусонакопления за-

медляется и содержание органического вещества в почве достигает квазиравновесного состояния.

Можно предположить, что такой специфический характер накопления органического вещества связан с постепенным приближением антропогенных экосистем, компонентом которых являются исследуемые почвы к климаксному состоянию.

Четкие временные зависимости и корреляция с почвообразующими породами наблюдаются и в закономерностях накопления энергии в гумусе почв. Нами по методике С.А. Алиева (Алиев, 1975). рассчитаны запасы энергии в разновозрастных почвах Крымского полуострова в двух группах: в почвах, сформировавшихся на рыхлых и на плотных почвообразующих породах. Данные представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. Запасы энергии в гумусе разновозрастных почв, сформировавшихся на рыхлых почвообразующих породах

Объект	Почвообразующая порода	Время, годы	Запасы энергии, ГДж/га
Отвалы (окрестности г. Симферополя)	известковая смесь	10	160
Отвалы (там же)	лессовидный суглинок	20	197
Отвалы (там же)	лессовидный суглинок	57	1226
Окопы 2 Мировой войны (Перекопский Вал)	лессовидный суглинок	64	425
Отвалы дота (Арабатская стрелка)	песок	67	239
Крепость Ор-Капу (Перекопский вал)	лессовидный суглинок	155	230
Там же	лессовидный суглинок	155	1025
Арабатская крепость, сев. стена	почвенная смесь	155	500
Крепость Каффа, креп. стена (Лисецкий и др., 2010)	почвенная смесь	532	1347
Мыс Зюк, Зенонов Херсонес (Лисецкий и др., 2010)	почвенная смесь	1300	2080
Гераклий, городище (Лисецкий и др., 2010)	лессовидный суглинок	1700	4894
Узунларский вал (Лисецкий и др., 2010)	почвенная смесь	2000	2366
Акмонайский вал	почвенная смесь	2300	3087

Таблица 2. Запасы энергии в гумусе разновозрастных почв, сформировавшихся на плотных почвообразующих породах

Объекты	Почвообразующая порода	Время, годы	Запасы энергии, ГДж/га
Отвалы карьера с. Пролом	известняковая крошка	20	306
Там же	известняковая крошка	20	93
Микензиевы горы, окопы	известняковая крошка	67	1075
Партизанская землянка	глинистые сланцы	67	184
Свято-Троицкий монастырь	плита из известняка	80	265
Судакская крепость, казармы 18 в.	стена из известняка	200	2737
Чуфут-Кале, руины	стена из известняка	300	548
Пионерское, поселение	стена из известняка	500	2031
Крепость Фуна, (Лисецкий и др., 2010)	стена из известняка	500	2237
Херсонес, руины дома	стена из известняка	600	2703
Эски-Кермен, руины	стена из известняка	700	1052
Пещерный комплекс Бакла	стена из известняка	1000	1324
Там же	стена из известняка	1000	1501
Мыс Ай-Тодор, руины монастыря	стена из известняка	1000	885
Крепость Харакс, римская стена	стена из известняка	1600	2675

Из таблицы 1 видно, что в первые 10-20 лет формирования примитивный профиль почвы на рыхлых почвообразующих породах уже накапливает 160-190 ГДж/га энергии, через 60 лет запасы энергии увеличиваются почти вдвое от 184 до 425 ГДж/га, и для процесса характерна большая вариабельность данных. Большая энергия среди этой группы почв аккумулируется в гумусе почв, формирующихся на лессовидных глинах, тогда как на песках энергия значительно меньше 99 и 239 ГДж/га. С возрастом энергия, аккумулированная в гумусе, увеличивается. В почвах 150 летнего возраста она равна 500 - 1025 ГДж/га. За 2000 летнюю историю формирования почв на рыхлых почвообразующих породах энергия возрастает до 2366 - 3087 ГДж/га.

В почвах на плотных почвообразующих породах (известняки, конгломераты, сланцы ...) (Табл. 2) энергия гумуса в слое почвы, сформировавшийся за 20 лет изменяется от 93 ГДж/га до 306 ГДж/га. На окопах 2 Мировой войны в почве возрастом 67 лет на делювии глинистых сланцев аккумулировано 184 - 303 ГДж/га энергии гумуса. На отвалах аналогичного возраста, но на делювии известняка и мергеля запасы энергии достигают 1075 ГДж/га. Запасы энер-

гии, которая накапливается в почвах, сформировавшихся на протяжении 200-300 лет, сильно отличаются, это объясняется, прежде всего, механическим составом породы, на которой образуются почвы. Уже после 500 лет почвообразования запасы энергии достигают очень высоких значений от 2031 до 2968 ГДж/га. В почвах тысячелетнего возраста запасы энергии изменяются от 1324 до 3067 ГДж/га.

Графически процесс накопления энергии гумусом разновозрастными почвами Крымского полуострова представлен на рис. 3.

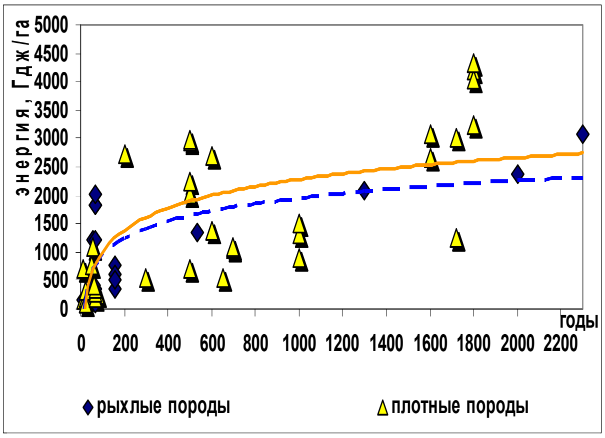


Рис. 3. Изменения энергии в гумусе разновозрастных почв.

На рис. 3 хорошо видно, что на плотных почвообразующих породах энергия, накапливаемая в гумусе, имеет меньшие значения, чем в почвах, формирующихся на рыхлых породах. Это объясняется термодинамическими свойствами почвообразующих пород. Но на начальных стадиях почвообразования процессы протекают параллельно. Заметим, что прирост энергии более значителен на начальных этапах формирования почвы. Со временем процесс накопления энергии затухает. В почвах возрастом 1000-1500 лет значения энергии в гумусе почв достигает значений близких к полнопрофильным голоценовым почвам (Ергина, 2013). Но в малогумусных видах запасы энергии даже меньше, чем в почвах меньшего возраста. Этот факт можно объяснить, прежде всего, низким содержанием гумуса и преобладанием процессов минерализации гумуса, который сопровождается потерями энергии при минерализации (Алиев, 1975).

В работах по рекультивации отвалов отмечается, что различные почвообразующие породы имеют высокие темпы аккумуляции энергии и гумификации. Так, В.А. Забалуев отмечает, что процессы гумификации и аккумуляции энергии органическим веществом в горных породах происходят значительно интенсивнее, чем в зональной почве (Забалуев, 2003). Это подтверждает возможность использования моделей гумусового состояния и энергетических характеристик разновозрастных почв для анализа процессов формирования молодых почв на разных почвообразующих породах и прогноза их состояний в будущем.

ВЫВОДЫ

В результате исследований динамики органического вещества в разновозрастных экосистемах обнаружен тренд развития процесса накопления гумуса.

Особенностью накопления органического вещества в почвах техногенных экосистем можно считать высокую вариабельность его темпов и скоростей, обусловленных спецификой сочетания факторов почвообразования.

Скорости накопления гумуса в разновозрастных почвах со временем снижаются и после достижения педосистемой возраста 1500-2000 лет стабилизируются.

Энергетический подход к вопросу количественной оценки аккумулированной гумусом почвы энергии позволяет количественно определить энергетическую ценность гумуса, определить темпы аккумуляции энергии в нем, и прогнозировать процессы количественного и качественного восстановления почв на рекультивированных участках. При формировании почвы на плотных почвообразующих породах энергия, накапливаемая в гумусе, имеет меньшие значения чем в почвах, формирующихся на рыхлых породах. Со временем процесс накопления энергии затухает. Энергия в гумусе почв приобретает значения близкие к полнопрофильным голоценовым почвам, уже через 1000-1500 лет их функционирования. С увеличением значений энергетических характеристик в почвах темпы процесса накопления гумуса и энергии в нем замедляются.

ЛИТЕРАТУРА

Абакумов Е.В. (2008) Накопление и трансформация органического вещества на разновозрастных отвалах песчаного карьера *Почвоведение,* **8:** 955-963.

Агрокліматичний довідник по автономній республіці Крим (1986–2005 рр.) [за ред.. О.І. Прудко, Т.І. Адаменко]. (2011). *Довідк. вид.* Сімферополь : ЦГМ в АРК., Таврида: 342с.

Александровский А.Л.. Александровская Е.И (2005) Эволюция почв и географическая среда М.: Ин-т географии РАН. Наука: 223 с.

Алиев С.А. (1975) Методы определения биоэнергетических балансов органического вещества почв. *Почвоведение,* **4:** 27-32.

Волобуев В.Р. (1959) Энергетика почвообразования. *Изв. АН СССР. Сер. биолог.*, **1:** 45–54.

Волобуев В.Р. 1968 Опыт расчета энергии кристаллической решетки почвенных минералов. Почвоведение, **4:** 89-93.

Геннадиев А.Н. (1990) Почвы и время: модели развития. М., МГУ, 232 с.

Голеусов П.В., Лисецкий Ф.Н. (2005) Воспроизводство почв в антропогенных ландшафтах лесостепи. Белгород: Белгор. гос. ун-тет, 232 с.

Ергина Е.И. (2009) Процессы динамики и самовоспроизводства почв в ландшафтах Крымского Присивашья. *Фізична географія та геоморфологія [міжвідом. наук. зб. КНУ імені Тараса Шевченка]. К.*, **Вип. 55:** 290-296.

Ергина Е.И. (2009).Особенности рецентного почвообразования в Крыму. *Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадського. Серия: География*, **22(61) №2:** 27-33.

Єргіна О. (2013) Енергетичні та термодинамічні характеристики ґрунтів і ґрунтоутворювальних субстратів Кримського півострова *Вісник Львівського університету. Серія географічна,* **Вип. 41:** 132–139.

Забалуєв В.О. (2003) Енергетичні і термодинамічні характеристики гірських порід як показника їх здатності до ґрунтоутворення. *Екологія і природокористування*, **Вип. 6:** 92-95.

Комачкова И.А (2009) Пространственно-временная эволюция почв техногенных ландшафтов Примор'я. Эволюция почвенного покрова. *История идей и методы, голоценовая эволюция, прогнозы / [отв. ред. И.В. Иванов, Л.С. Песочина].* Пущино : Ин-т фіз.-хим. и биол. проблем почвоведения РАН: 131-133.

Лисецкий Ф.Н., Ергина Е.И. (2010) Развитие почв Крымского полуострова в позднем голоцене. *Почвоведение*, **6:** 643-657.

Махонина Г.И., Коркина И.Н. (2001) Скорость восстановления почвенного покрова на антропогенно нарушенных территориях (на примере археологических памятников Западной Сибири). *Экология*, **1:** 14−19.

Krım Yarımadasının Müxtəlif Yaşlı Torpaqlarında Humusəmələgəlmə Proseslərinin Və Humusda Enerji Ehtiyyatlarının Dinamikası

Y.İ.Yergina

Vernadski adına Tver Milli Universiteit, Ukrayna

Müxtəlif yaşlı pedoekosistemlərdə humusun miqdarının və ehtiyyatlarının dinamikasının əsas qanunauyğunluqları öyrənilmişdir. Aydılnaşdırılmışdır ki, torpağın yaşı artdıqca humustoplama proseslərinin sürəti azalır, torpağın yaşı 1500 ilə çatdıqda isə stabilləşir. Müxtəlif torpaqəmələgətirən süxurlarda formalaşan torpaq humusunun energetikasının qiymətləndirilməsinin əhəmiyyəti və praktiki əhəmiyyəti müəyyən edilmişdir.

***Açar sözlər**: humus, humus ehtiyatları, humusəmələgəlmə sürəti, humusun enerjisi*

Dynamics Of Processes Of Humus Formation And Energy Reserves In Humus Of The Uneven Soils On The Crimean Peninsula

E.I.Yergina

Tauride National University named after V. Vernadsky, Ukraine

The main regularities in dynamics of content and reserves of humus in uneven subecosystems have been determined. Humus accumulation rate was found to decrease with age and after reaching the age of 1500 humus content in soils stabilized. The values and the practical results of the evaluation of humus energy in soils developed on different parent rocks were established.

***Key words:** humus, humus reserves, rate of humus formation, humus energy*